

Perancangan dan Pembuatan Orthosis *Flat Foot* dengan Metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping*

Finny Pratama Putera¹⁾, Paryana Puspaputra²⁾, Damarjati Sabdahu³⁾

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang km 14,5, Yogyakarta, 55584, Indonesia^{1),2),3)}
E-Mail : finny.pratama.putera@uii.ac.id^{1)*}

ABSTRAK

Ortosis merupakan alat khusus yang dirancang untuk menunjang atau memperbaiki struktur tubuh. Pada kasus *flat foot*, ortosis berfungsi membantu menopang lengkung arkus, memberikan peredaman tekanan, serta meningkatkan stabilitas sehingga dapat mengurangi rasa nyeri maupun ketidaknyamanan yang ditimbulkan. *Flat foot* merupakan kelainan bagian telapak kaki ditandai kurangnya lengkungan pada bagian arkus. Penyangga yang berupa orthosis *insole flat foot* dibutuhkan sebagai salah satu terapi penanganan. Rancangan *insole* dibuat dengan metode *Reverse Engineering* dan *Rapid Prototyping* yang dibuat sesuai dengan kriteria desain yang ditentukan. *Insole flatfoot* ini disesuaikan dengan ukuran anatomi tubuh pasien dan dicetak dengan material *Thermoplastic Polyurethane* (TPU) pada mesin *3D printing*. Hasilnya adalah *Insole* sepatu bersifat fleksibel dalam perancangan, serta proses manufaktur yang praktis.

Kata kunci: *Reverse Engineering*, Orthosis, *Insole Flat Foot*, *3D print*.

ABSTRACT

An orthosis is a special device designed to support or improve body structure. In the case of flat feet, an orthosis helps support the arch, provide pressure damping, and increase stability, thereby reducing pain and discomfort. Flat foot is a foot deformity characterized by a lack of arch in the arch. A flat-foot orthotic insole is needed as one of the treatment therapies. The insole design is created using Reverse Engineering and Rapid Prototyping methods and is made according to the specified design criteria. This flatfoot insole is custom-fitted to the patient's anatomical size and printed in Thermoplastic Polyurethane (TPU) on a 3D printer. The result is a shoe insole that is flexible in design and practical in manufacturing.

Keywords: *Reverse Engineering*, Orthosis, *Insole Flat Foot*, *3D print*.

1. Pendahuluan

Kaki dan pergelangan kaki merupakan bagian tubuh dengan struktur yang sangat kompleks, berperan penting dalam menjaga kestabilan saat berdiri maupun bergerak. Pada kaki terdapat 28 tulang, lebih dari 30 sendi, serta jaringan tendon dan ligamen yang menyokong fungsinya. Sebagai penopang utama tubuh, kesehatan kaki sangat memengaruhi aktivitas sehari-hari. Gangguan pada bagian ini tidak hanya menimbulkan rasa nyeri, tetapi juga dapat membatasi mobilitas seseorang. Salah satu kondisi yang sering ditemui adalah *flat foot*, yaitu penurunan

lengkung telapak kaki. Kondisi ini dapat dialami baik oleh anak-anak maupun orang dewasa, dan diperkirakan memengaruhi sekitar 20%–30% populasi di seluruh dunia (S. Su dkk, 2017).

Flat foot atau telapak kaki datar terbagi menjadi dua jenis, yaitu *fixed flat foot* dan *flexible flat foot*. Perbedaan utama keduanya dapat diamati saat posisi telapak kaki tanpa beban, misalnya ketika berbaring telentang (K. J. Youn dkk, 2019). Namun, batasan antara kedua tipe tersebut masih belum sepenuhnya jelas. Hingga kini, penelitian lebih banyak berfokus pada *flexible flat foot*,

*Corresponding author

karena kondisi ini masih memungkinkan dikoreksi sehingga telapak kaki kembali mendekati normal dengan bantuan sepatu khusus atau sol ortotik yang dilengkapi sisipan pada bagian arkus medial. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mengenai penanganan *flat foot* menjadi penting dilakukan.

Ortosis merupakan alat yang dirancang khusus untuk menunjang atau memperbaiki struktur tubuh, dan pada kasus *flat foot* berfungsi menopang lengkung arkus, meredam tekanan, serta menjaga stabilitas sehingga dapat mengurangi rasa nyeri maupun ketidaknyamanan. Berdasarkan tingkat kekakuan materialnya, ortosis terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *soft orthosis* yang umumnya digunakan sebagai insole karena mampu mendistribusikan tekanan beban, *rigid orthosis* yang terbuat dari material kaku dengan tujuan memperbaiki masalah mekanis melalui perubahan bentuk dan penyalarsan kaki, serta *semi-rigid orthosis* yang mengombinasikan material lunak dan kaku sehingga mampu memberikan dukungan sekaligus peredaman. Dengan karakteristik tersebut, ortosis menjadi salah satu solusi terapi yang efektif untuk membantu penderita *flat foot*, khususnya dalam mengurangi beban saat berjalan maupun berlari (Bednarczyk dkk, 2024).

Salah satu penelitian terkait rehabilitasi menggunakan ortosis dilakukan untuk menilai pengaruh cetakan ortosis kaki khusus terhadap keseimbangan serta gangguan pada kaki anak-anak yang mengalami *flat foot* fleksibel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan ortosis dalam jangka pendek memberikan dampak positif, terutama dalam meningkatkan keseimbangan dan mengurangi keluhan nyeri pada anak dengan kondisi tersebut. (Lee dkk, 2015)

Sejumlah penelitian terbaru membahas penggunaan *insole* untuk penderita *flat foot* yang dibuat dengan teknologi *3D printing*. Studi tersebut meneliti pengaruh *insole* 3D printing terhadap distribusi tekanan dan kenyamanan pada telapak kaki, serta dampaknya terhadap lengkung kaki pada kasus *flat foot* fleksibel. Hasil dari kedua penelitian tersebut menunjukkan adanya efek positif,

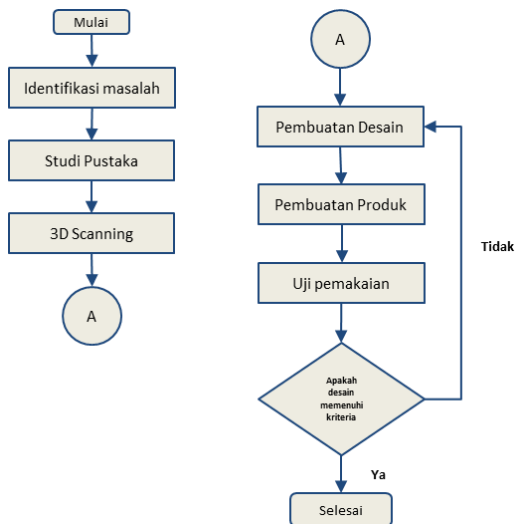
terutama dalam memperbaiki kondisi kaki penderita. (R. Xu dkk, 2019; Cheng dkk, 2021).

Seiring dengan perkembangan waktu, inovasi dalam pembuatan *insole berbasis 3D printing* semakin banyak dikembangkan. Salah satu penelitian membuat tiga variasi *insole* 3D printing untuk dibandingkan efek biomekaniknya pada penderita *flat foot*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis *insole* tersebut mampu membantu menopang lengkung kaki serta meningkatkan sudut dorsofleksi pada kaki. (Wang dkk, 2022)

Penelitian mengenai pembuatan *insole 3D printing* mulai dikembangkan di Indonesia dengan tujuan menghasilkan sepatu khusus bagi penderita *flat foot*. Proses perancangan dilakukan dengan memanfaatkan teknologi *3D scanner* untuk memperoleh data anatomi kaki yang kemudian diolah menggunakan aplikasi. Inovasi berlanjut melalui penerapan *3D printed spacer technique*, yang menghasilkan *insole* dengan karakteristik lebih lembut, sejuk, dan ringan, serta didukung pergerakan *toolpath* yang efisien tanpa *travel movement*. Dengan perkembangan teknologi ini, *insole* berbasis 3D printing menawarkan solusi yang lebih presisi, nyaman, dan efektif sebagai terapi bagi penderita *flat foot* (Sterman dkk, 2024).

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe *insole* untuk penderita *flat foot* fleksibel dengan memanfaatkan teknologi *3D printing*. Prototipe dibuat menggunakan material *TPU (Thermoplastic Polyurethane)* yang memiliki karakteristik elastis dan tahan lama sehingga sesuai untuk kebutuhan *insole*. Proses perancangan dilakukan melalui perangkat untuk menghasilkan desain yang presisi sesuai bentuk kaki. Penelitian ini difokuskan pada tahap pembuatan prototipe sehingga tidak membahas aspek ortopedi maupun medis secara mendalam, namun diharapkan dapat memberikan solusi alternatif dalam penanganan *flat foot* fleksibel melalui pendekatan teknologi manufaktur aditif.

2. Metodologi



Gambar 1. Alur penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian. Dalam penelitian ini diterapkan metode *Reverse Engineering*, yakni tahapan untuk mengidentifikasi serta meniru bagian-bagian penting dari suatu objek nyata guna menyusun model virtual atau real secara presisi, ataupun melakukan pembaruan pada model lama. Penerapan metode ini membutuhkan perangkat yang kompleks, dukungan fasilitas komputer, serta kompetensi sumber daya manusia yang tinggi (Saiga dkk, 2021).

Metode *Rapid Prototyping (RP)* kemudian dikembangkan sebagai teknik untuk membentuk objek fisik secara langsung dari data digital yang dihasilkan oleh sistem *Computer-Aided Design (CAD)*. Penerapan teknologi RP bertujuan meningkatkan pemahaman dan visualisasi tahapan desain produk, sehingga dapat digunakan untuk meminimalkan ketidakpastian yang mungkin terjadi pada proses produksi berskala penuh (Ghane, 2021)

Penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan pada *insole flat foot* yang telah ada, kemudian dilanjutkan dengan studi pustaka sebagai dasar teori. Setelah itu, dilakukan pengolahan data pasien melalui pemindaian tiga dimensi (3D scanning) yang menghasilkan file dalam format *.STL (Standard Triangle Language)*. Data tersebut selanjutnya dijadikan acuan dalam proses

perancangan desain menggunakan aplikasi *Autodesk Fusion 360*. Apabila desain sudah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, maka model akan dicetak menggunakan *3D printer*.

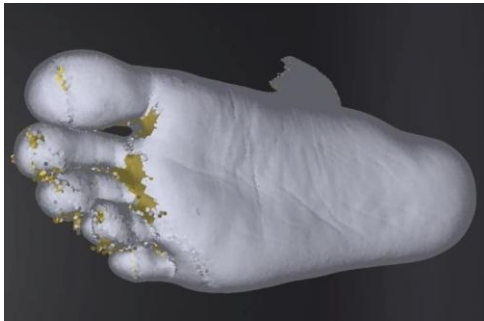
Pada penelitian ini, perancangan insole dilakukan dengan memperhatikan beberapa kriteria desain. Pertama, bentuk insole dibuat simetris pada sisi kanan dan kiri sehingga mampu mendistribusikan beban tubuh secara merata. Kedua, bobot insole tidak boleh melebihi 500-gram agar tetap nyaman digunakan. Data pasien diperoleh melalui *3D scanner EinScan Pro 2X Plus*, kemudian diproses menggunakan aplikasi *ExScan Pro* untuk menghasilkan file *STL* yang siap digunakan sebagai referensi desain.

Tahap pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan *Autodesk Fusion 360*. File hasil scan dalam format *STL* diimpor ke dalam aplikasi, lalu dimodifikasi sesuai kebutuhan desain insole. Pemilihan *Fusion 360* didasarkan pada ketersediaan perangkat lunak yang mendukung pemodelan bentuk organik, termasuk bagian tubuh manusia, sehingga sesuai untuk pembuatan insole sepatu. Secara keseluruhan, perancangan insole flat foot ini terdiri atas empat tahapan utama, yaitu pengolahan data pasien, pemodelan desain, pembuatan *G-code*, dan pencetakan 3 dimensi.

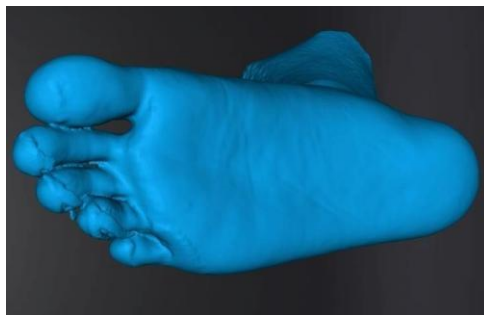
Hasil pemindaian kaki (Gambar 2) menggunakan *EinScan Pro 2X Plus* pada awalnya belum optimal karena masih terdapat lubang dan bentuk yang kurang rapi. Data mentah tersebut kemudian diperbaiki menggunakan aplikasi *ExScan Pro* agar model yang dihasilkan lebih halus dan siap dijadikan acuan dalam pembuatan desain insole. Dengan proses perapihan ini, kualitas data meningkat sehingga lebih sesuai digunakan dalam tahap pemodelan berikutnya.

Hasil pemindaian yang masih berlubang kemudian diperbaiki menggunakan aplikasi dengan memanfaatkan fitur *generate point clouds*. Pada tahap ini tersedia dua opsi, yaitu *quality priority* dan *speed priority*. Pilihan *speed priority* digunakan karena sudah memadai untuk menghasilkan model yang

diperlukan. Setelah point clouds terbentuk, model selanjutnya diubah menjadi *mesh model* dengan opsi *water tight* pada kualitas *high detail* guna menutup celah dan memperbaiki ketidaksempurnaan yang terdapat pada hasil scan. Gambar 3 menampilkan model kaki yang telah mengalami perbaikan.



Gambar 2. Hasil Scan



Gambar 3. Hasil Perbaikan Scan

Pada tahap perbaikan *mesh* untuk model referensi *insole*, masih terdapat ketidaksempurnaan pada bagian jari kaki. Namun, hal tersebut tidak menjadi kendala dalam proses pembuatan *insole* karena permukaan yang paling krusial adalah telapak kaki pasien. Hasil pemindaian menunjukkan telapak kaki dalam posisi melayang, kondisi ini penting karena pada kasus *flexible flat foot* akan terlihat lengkungan kaki yang menjadi acuan utama dalam perancangan desain *insole*. Proses pemindaian berlangsung sekitar 1–3 menit sehingga diperlukan penyangga pada kaki pasien agar posisi tetap stabil dan hasil scan lebih ideal. Gambar 4 menampilkan ilustrasi proses pengambilan data *scan* pada kaki.



Gambar 4. Pengambilan Data

Dalam proses *3D printing*, terdapat sejumlah parameter penting yang harus diperhatikan, salah satunya adalah pengaturan suhu pencetakan. Untuk jenis filamen *TPU (Thermoplastic Polyurethane)*, suhu ekstrusi yang disarankan berada pada kisaran 225–245°C, sedangkan suhu *bed* dipertahankan pada rentang 45–60°C agar proses pencetakan berjalan optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pemodelan

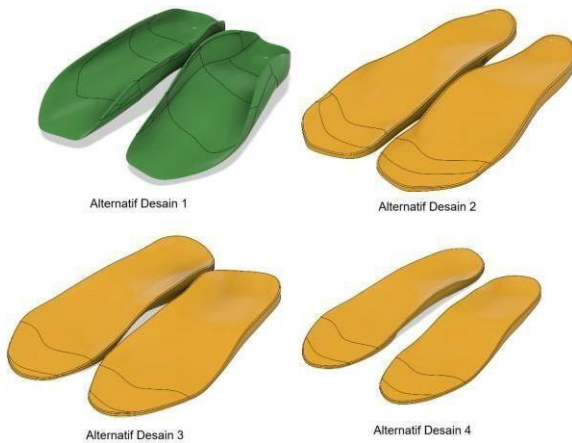
Perancangan *insole* sepatu dilakukan beberapa tahap dengan hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Final Pemodelan

Proses perancangan desain dilakukan melalui enam tahapan utama, yaitu pembuatan *surface T-splines*, pembuatan *insole*, penambahan penopang arkus kaki, penggabungan (*merging*) *insole*, tahap *finishing*, serta proses *mirror*. Dalam pelaksanaannya, tahapan tersebut tidak terlepas dari berbagai kendala, baik terkait tingkat kerumitan pengerjaan maupun pengaruhnya terhadap waktu yang

dibutuhkan. Gambar 6 menampilkan hasil dari beberapa tahap yang telah diselesaikan.

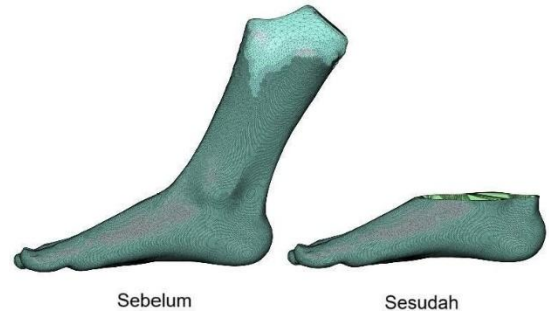


Gambar 6. Iterasi Desain

Berdasarkan Gambar 6 di atas, terdapat empat iterasi desain sebelum ditetapkan desain akhir yang akan digunakan. Proses perancangan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak, dan hasilnya dicetak menggunakan metode *rapid prototyping* berbasis *3D printing*. Aplikasi *Fusion 360* dipilih sebagai perangkat lunak utama dalam pembuatan desain insole sepatu karena mendukung pemodelan organik yang sesuai dengan bentuk kaki.

Tahap awal perancangan dimulai dengan proses *remeshing*. Langkah ini diperlukan untuk menyesuaikan hasil file .STL dari model kaki agar sesuai dengan kemampuan komputer dalam mengolah desain insole. Polygon pada mesh kaki yang terlalu besar akan dikurangi resolusinya menggunakan fitur *remesh* atau *reduce*, sehingga model lebih ringan untuk diproses.

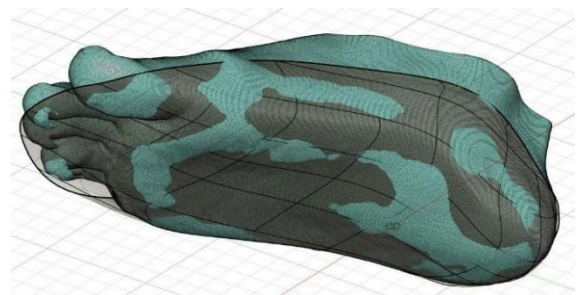
Karena bagian yang dibutuhkan hanya telapak kaki, sisa mesh pada model dipotong menggunakan fitur *mesh plane cut* dengan *fill type* minimal. Pemotongan ini bertujuan untuk mengurangi jumlah polygon sekaligus menurunkan resolusi mesh agar tidak membebani kinerja komputer. Gambar 7 menunjukkan hasil model sebelum dan sesudah melalui proses *remeshing* dan *plane cut*.



Gambar 7. Hasil *Import* dan *Remeshing*

Setelah tahap *remeshing* selesai, proses perancangan desain dilanjutkan dengan pembuatan *surface* yang mengikuti bentuk telapak kaki pada model. Tahap berikutnya adalah menggunakan fitur *Create to Form* untuk membentuk *T-splines* dengan bantuan *tools pull*.

T-splines merupakan salah satu fitur unggulan pada perangkat lunak *Autodesk Fusion 360* yang sering dimanfaatkan dalam metode *reverse engineering*. Fitur ini berfungsi untuk membentuk permukaan (*surface*) yang dapat menyesuaikan dengan hasil pemindaian 3D atau objek yang sudah ada. Melalui metode ini, dibuat model form yang dirancang khusus untuk memperbaiki lengkung arkus pada kaki. Gambar 8 menunjukkan hasil desain dengan *Surface T-Spline*.



Gambar 8. *Surface T-Spline*

Dari hasil desain terlihat adanya bagian yang tidak sepenuhnya berada di permukaan telapak kaki, melainkan menembus ke dalam model kaki. Kondisi ini wajar karena fungsi utama insole sepatu adalah memperbaiki

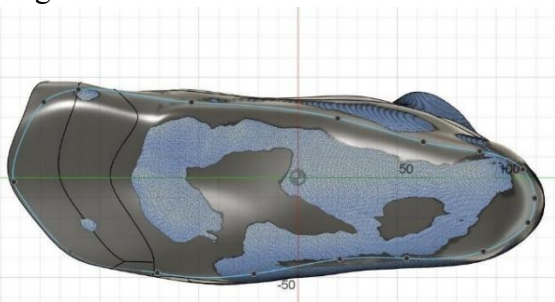
postur telapak kaki sehingga diperlukan penyesuaian bentuk pada permukaan model.

Setelah proses meshing pada surface kaki selesai, tahap berikutnya adalah menambahkan ketebalan pada lapisan surface tersebut. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fitur *Thicken*, sehingga model insole memiliki bentuk yang lebih realistis dan siap untuk tahap pemrosesan selanjutnya. Hasil iterasi desain 1 ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Iterasi Desain 1

Pada iterasi desain 1, terdapat kekhawatiran bahwa model tidak mampu menopang beban pengguna dengan optimal. Oleh karena itu, dibuat iterasi desain 2 sebagai pengembangan dari desain sebelumnya, dilakukan sebelum penerapan fitur *Thicken*. Pada tahap ini, desain diperoleh dengan membuat sketsa tambahan di bawah permukaan *T-spline*, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Sketsa *Insole*

Setelah sketsa *insole* selesai dibuat, tahap berikutnya adalah memberikan ketebalan pada sketsa tersebut dengan memanfaatkan fitur *Extrude*. Proses ini dilakukan dengan memilih

sketsa sebagai profil, kemudian menggunakan pengaturan *extent type (to object)* dengan objek acuan berupa surface *T-spline* yang telah dirancang sebelumnya. Melalui pengaturan tersebut, dihasilkan model insole pada *iterasi desain 2* seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



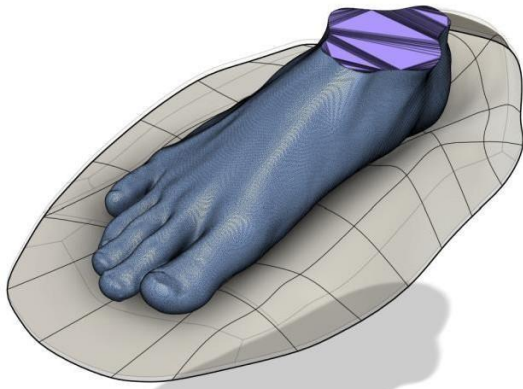
Gambar 11. Iterasi Desain 2

Pada saat dilakukan uji coba pemakaian, *iterasi desain 2* tidak memenuhi kriteria kenyamanan karena ukuran *insole* yang terlalu kecil. Kondisi ini menyebabkan pengguna merasakan bagian depan kaki melebihi batas *insole* serta sering terjadi slip saat *insole* digunakan di dalam sepatu. Oleh karena itu, diperlukan pengulangan proses perancangan untuk menghasilkan *iterasi desain 3*.

Kegagalan pada iterasi desain 2 terletak pada sketsa *insole* yang dibuat. Hal ini disebabkan oleh *surface T-spline* yang mengikuti kontur samping kaki, sehingga ukuran sketsa tidak dapat melampaui batas permukaan tersebut. Untuk mengatasi masalah ini, *surface T-spline* kemudian dibuat ulang dengan bentuk yang lebih melebar ke segala arah, namun tetap mempertahankan penutupan pada area telapak kaki. Gambar 12 menunjukkan hasil *surface T-spline* yang telah diperbarui.

Langkah selanjutnya adalah membuat *insole* dengan membuat sketsa *insole* yang lebih besar dari permukaan kaki, kemudian menggunakan fitur *extrude* dengan langkah yang sama pada desain 2. Setelah melakukan

langkah tersebut maka didapatkan hasil desain 3 seperti pada Gambar 13.



Gambar 12. *Surface T-Spline* Iterasi Desain 3



Gambar 13. Iterasi Desain 3

Ketika melakukan tahap uji pemakaian maka ditemukan bahwa hasil *insole* terlalu besar sehingga tidak bisa dimasukkan ke dalam sepatu. Sehingga perlu dilakukan pengulangan pada desain *insole*, pengulangan ini menghasilkan desain akhir dari *insole* sepatu. Perubahan yang dilakukan terdapat pada langkah sebelum pembuatan sketsa *insole*, dengan penambahan referensi foto bagian dalam sepatu yang akan diperlukan untuk menentukan ukuran *insole* Sepatu.

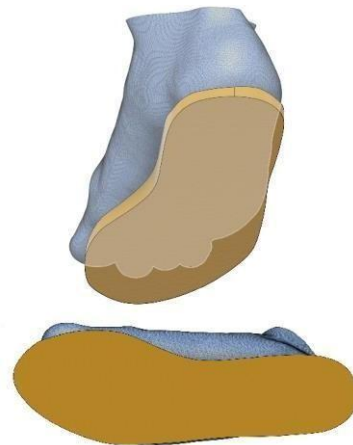


Gambar 14. Referensi *Insole* Sepatu

Gambar 14 adalah proses dimana foto bagian dalam sepatu diambil dengan koin sebagai referensi untuk melakukan *re-scale* yang bisa dilakukan di dalam aplikasi fusion 360 dengan fitur *calibrate*, kemudian memilih titik untuk ditaruh pada posisi ujung koin, untuk menentukan ukuran koin sesuai dimensi sesungguhnya yang berupa 27 mm (milimeter) pada diameternya.

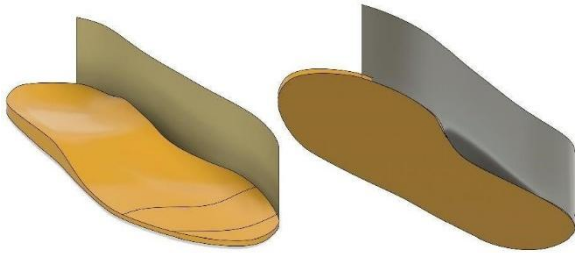
Langkah berikutnya adalah mengubah posisi/peletakan gambar untuk menyesuaikannya dengan referensi 3D *scan* kaki dengan fitur edit *canvas* pada gambar, kemudian letakan posisinya sesuai dengan referensi *scan*.

Setelah tahap tersebut maka dibuat sketsa *insole* sepatu yang sesuai dengan foto referensi *insole* sepatu kemudian dilakukan langkah *extrude* seperti pada tahap pembuatan *insole* alternatif desain 2. Setelah dilakukan langkah tersebut maka dihasilkan *insole* seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil *Extrude* Iterasi Desain 4

Pada Gambar 15 terlihat ada bagian bagian lekukan yang ada pada bagian *insole*, lekukan ini tidak dapat menopang bagian lekungan arkus pada kaki, sehingga desain masih perlu diperbaiki. Maka dibuatlah bagian *surface T-spline* untuk menyesuaikan bentuk *insole* terhadap bagian dalam sepatu dan *surface scan* kaki. Gambar 16 menunjukkan pembuatan *surface T-spline* bagian penopang lekungan arkus.



Gambar 16. *Surface T-spline Insole* Sepatu

Setelah membuat *surface insole* maka bisa dibuat bagian untuk menopang lengkungan arkus kaki. Langkah ini dimulai dengan membuat sketsa yang kemudian di-*extrude* untuk menyesuaikan bentuk *surface T-spline insole* sepatu. Gambar 17 adalah hasil dari *extrude* bagian yang akan menopang lengkungan arkus pada kaki.



Gambar 17. Hasil *Extrude Support* Lengkung Arkus Kaki

Hasil *extrude* tersebut dibuat dengan menyesuaikan kedua bentuk *surface T-spline* pada permukaan kaki dan bagian dalam sepatu. Kemudian hasil dari *extrude* dijadikan satu bagian dengan *insole* dengan fitur *merge*. Setelah kedua bagian menjadi satu maka desain *insole* kemudian dicerminkan untuk membuat pasangan *insole* yang lainnya. Gambar 18 menunjukkan hasil akhir dari *insole flatfoot*.

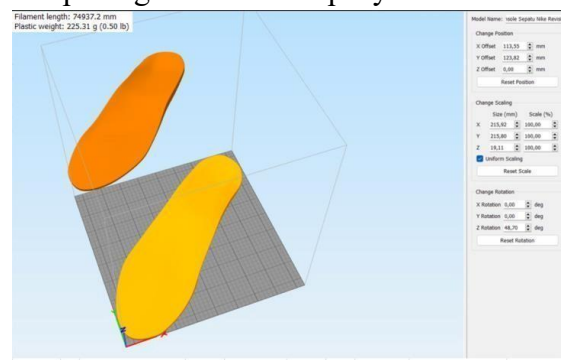


Gambar 18. Iterasi Desain 4

3.2. Hasil Proses 3D Print

Hasil akhir desain keudian dicetak untuk dilakukan uji pemakaian. Desain yang dibuat dari fusion 360 kemudian di *export* dengan format.STL lalu dimasukkan ke dalam aplikasi Simplify3D untuk mengatur dan mengkalibrasi temperatur dan ketinggian *bed*, memanaskan *nozzle* serta menentukan jenis dan ukuran filamen yang digunakan. Pengaturan gerakan *nozzle* dilakukan dengan aplikasi tersebut.

Mesin 3D yang digunakan adalah Creality Ender 3 V3 SE dengan kapasitas cetak 220 x 220 x 250 mm. Material *insole* kaki yang dicetak adalah filamen TPU. Gambar 19 merupakan simulasi pencetakan Desain 4 dalam perangkat lunak Simplify3D.



Gambar 19. Simulasi 3D Printing Desain 4

Karena ukuran kedua *insole* lebih besar dari kapasitas cetak mesin maka proses 3D *printing* dilakukan dengan memisahkan *insole* kanan dan kiri. Proses waktu untuk mencetak memakan waktu sekitar 18 jam 54 menit yang dilakukan dengan dua 3D *printer* untuk

mengurangi waktu pengerjaan. *Infill* dari proses pencetakan dibuat 60%, tinggi layer height yang dipakai adalah 0.1 mm, *nozzle* diameternya adalah 0.40 mm, *pattern infill Rectilinear*, temperatur *nozzle* 220 °C, *Heatbed* temperatur 50°C.

3.3. Hasil Produksi Desain Akhir

Setelah melakukan pencetakan 3D, didapatkan hasil yang hampir sempurna. Karena tingkat ketelitian layer height yang dipilih adalah 0.1mm maka hasil akhir dari proses pencetakan hampir tidak memiliki permukaan kasar yang dapat mengganggu pada saat proses uji coba pemakaian, namun proses *finishing* masih harus dilakukan pada permukaan yang masih sedikit kasar dengan menggunakan sandpaper. Gambar 20 menunjukkan bentuk akhir dari *insole flatfoot*.



Gambar 20. Hasil 3D *Printing* Desain 4

3.5 Hasil Uji Pemakaian

Gambar 21 merupakan foto saat penggunaan ortosis *insole flatfoot* final yang berupa iterasi Desain 4.



Gambar 21. Penggunaan *Insole Flatfoot* Iterasi Desain 4

Foto di atas diambil pada saat posisi berdiri dan pada saat penggunaan *insole* terjadi penolakan pada lengkungan arkus pada kaki. Desain 4 mencakup semua kriteria karena desain tersebut dibuat dengan menggunakan teknologi komputerasi CAD/CAM 3D *printing*, bentuk *insole* yang simetris kanan dan kiri mendistribusikan beban pada kaki secara merata, berat *insole* sebesar 225.31 gram, *insole* terbuat dari satu jenis material yaitu *filament TPU (Thermoplastic Polyurethane)*, dan terakhir adalah kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari.

Sebelum desain akhir dipilih, terdapat beberapa percobaan pada desain 2 dan desain 3. Pada desain 2, dihasilkan *insole flatfoot* yang bisa digunakan tetapi ada satu kekurangan pada desain 2. Karena ukurannya yang dibuat lebih kecil dari ukuran permukaan kaki maka alternatif desain 2 mengalami *slip* ketika digunakan di dalam sepatu. Gambar 22 menunjukkan hasil uji coba Desain 2.



Gambar 22. Penggunaan *Insole Flatfoot* Desain 2

Dari penggunaan *insole* desain 2 bisa dilihat bahwa *insole* dapat menopang beban pengguna pada saat berdiri, namun kekurangan dari desain ini terletak pada kenyamanan pada saat penggunaan sehari-hari yang bisa ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 23. *Insole* Desain 2 di dalam Sepatu

Pada Gambar 23 bisa terlihat rongga-rongga yang masih ada di bagian tumit *insole*, rongga tersebut mengakibatkan terjadinya *flatfoot* yang masih bisa bergerak di dalam sepatu pada saat pemakaian, hal ini menyebabkan penggunaan *insole* yang kurang nyaman untuk dipakai. Selanjutnya dibuatlah Desain 3 untuk memenuhi kriteria desain kenyamanan penggunaan dalam kegiatan sehari-hari. Gambar 23 menunjukkan hasil uji coba penggunaan desain 3.



Gambar 23. Penggunaan *Insole Flatfoot I* Desain 3

Ketiga *insole* ini berhasil menopang badan pengguna saat posisi berdiri, namun kesalahan yang ada pada desain 3 adalah ukuran dari *insole* yang melebihi bagian dalam sepatu sehingga *insole* tidak dapat digunakan dalam sepatu. Gambar 24 adalah kegagalan dari desain tersebut.



Gambar 25. Kegagalan *Insole* Desain 3

Dari kegagalan desain 3 maka dibuatlah desain 4 yang mempertimbangkan dimensi bagian dalam sepatu maka dihasilkan bentuk yang menyerupai bagian dalam sepatu sehingga *insole* dapat dimasukkan dengan posisi yang pas. Gambar 26 menunjukkan bagian dalam sepatu dengan *insole* desain 4.



Gambar 26. *Insole* Desain 4 di Dalam Sepatu

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembuatan *insole* untuk penderita *flat foot* berhasil direalisasikan melalui metode *reverse engineering* dan *rapid prototyping*. Proses ini melibatkan teknik *3D scanning* untuk memperoleh data pasien, perangkat lunak Autodesk Fusion 360 dalam tahap perancangan desain, serta penggunaan *3D printer* dalam pembuatan prototipe. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain *insole* sepatu yang dihasilkan memiliki keunggulan berupa kemudahan dalam proses pemodelan serta fleksibilitas untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Daftar Pustaka

- Ghane, D. B. (2021). Rapid Prototyping: The Revolutionary Technology And Applications Review. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 3(2), 1-7. <https://repo.ijert.org/index.php/ijert/article/view/838>
- Bednarczyk, E., Sikora, S., Kossobudzka-Górska, A., Jankowski, K., & Hernandez-Rodriguez, Y. (2024). Understanding flat feet: An in-depth analysis of orthotic solutions. *Journal of Orthopaedic Reports*, 3(1), 100250. <https://doi.org/10.1016/j.jorrep.2023.100250>
- Cheng, K. W., et al. (2021). A three-dimensional printed foot orthosis for flexible flatfoot: An exploratory biomechanical study on arch support reinforcement and undercut. *Materials*, 14(18), 5297. <https://doi.org/10.3390/ma14185297>
- Hsu, C. Y., Wang, C. S., Lin, K. W., Chien, M. J., Wei, S. H., & Chen, C. S. (2022). Biomechanical analysis of the flatfoot with different 3D-printed insoles on the lower extremities. *Bioengineering*, 9(10), 563. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100563>
- Lee, H. J., Lim, K. B., Yoo, J. H., Yoon, S. W., Yun, H. J., & Jeong, T. H. (2015). Effect of custom-molded foot orthoses on foot pain and balance in children with symptomatic flexible flat feet. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(6), 905–913. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.6.905>
- Saiga, K., Ullah, A. S., Kubo, A., & Tashi. (2021). A sustainable reverse engineering process. *Procedia CIRP*, 101, 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.144>
- Sterman, Y., Solav, D., Rosen, N., Saffuri, E., & Zaritsky, L. S. (2024). Custom orthotic insoles with gradual variable stiffness using 3D printed spacer technique. *Virtual and Physical Prototyping*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/17452759.2024.2336151>
- Su, S., Mo, Z., Guo, J., & Fan, Y. (2017). The effect of arch height and material hardness of personalized insole on correction and tissues of flatfoot. *Journal of Healthcare Engineering*, 2017, 8614341. <https://doi.org/10.1155/2017/8614341>
- Xu, R., et al. (2019). Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot. *Medical Science Monitor*, 25, 3510–3519. <https://doi.org/10.12659/MSM.916975>
- Youn, K. J., Ahn, S. Y., Kim, B. O., Park, I. S., & Bok, S. K. (2019). Long-term effect of rigid foot orthosis in children older than six years with flexible flat foot. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 43(2), 224–229. <https://doi.org/10.5535/arm.2019.43.2.224>